

## Вестник Брестского государственного технического университета. 2012. №1

15. Bruggeling A.S.G. Transmission of prestress by bond/ Internal Report of TG9.4 to Commission. – 2000. – 37 p.
16. Bruggeling. Manual "Theorie en Praktijk van het voorgespannen beton", 2 volumes 10050 p. – t. Koggeschip.
17. Bruggeling. The transmission length of pretensioning prestressed steel. Proceeding Tenth International Congress of FIP, part 4, NewDelhi, India, 1986, page 117/127.
18. Lopez M.R., Carmo N.F. Bond of prestressed strands to concrete: transfer rate and relationship between transmission length and tendon draw-in/ Structural Concrete. – 2002. – N 3. – P. 117–126.
19. PCI Manual for the design of Hollow Core Slabs/ Second Edition, PCI, Chicago, 1988. – 120 p.
20. Quality Assurance and Recommended Connections of Prestressed Hollow Core Slabs – BSI, London, 1998.
21. Плиты покрытий и перекрытий железобетонные для зданий и сооружений. Технические условия: СТБ 1383.
22. Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования: СНиП 2.03.01–84\*.
23. Common rules for precast concrete products: EN 13369.
24. Precast Concrete Products – Hollow Core Slabs: EN 1168:2006.

Материал поступил в редакцию 02.02.12

## TUR V.V., BASOV A.V. Normalization of size slippages in strands of hollow core slabs based on the results factory tests

The theoretical and normative approaches to determination of transmission zone length and characteristics determination of transmission zone length of hollow core slabs. The experimental study transmission zone length of strands was made at the precast concrete plant.

УДК 69.022

Галалюк А.В., Деркач В.Н.

## ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАМЕННОЙ КЛАДКИ ПРИ СЖАТИИ

**Введение.** В стеновых конструкциях каменная кладка обычно работает в условиях одноосного, в том числе и внецентренного, сжатия. Однако в ряде случаев возникает необходимость оценки прочности кладки с учетом работы в условиях плоского напряженного состояния. В таких условиях, например, работает стеновое заполнение каркасов при перекосе в плоскости стен, перегородки, опирающиеся на гибкие диски перекрытий, конструктивные элементы кладки, выполненные из материалов различной деформативности и т.д. Для того чтобы оценить напряженно-деформированное состояние указанных конструкций, требуется знание деформационных характеристик каменной кладки, связь между напряжениями и деформациями для которой в условиях плоского напряженного состояния записывается в виде (1).

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = \frac{1}{1 - \mu_{xy}\mu_{yx}} \begin{bmatrix} E_x & \mu_{yx}E_x & 0 \\ \mu_{xy}E_y & E_y & 0 \\ 0 & 0 & (1 - \mu_{xy}\mu_{yx})G_{xy} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где  $E_x, E_y$  – модули упругости вдоль и поперек горизонтальных растворных швов;

$\mu_{xy}, \mu_{yx}$  – коэффициенты Пуассона вдоль и поперек горизонтальных растворных швов;

$G$  – модуль сдвига.

В соответствии со СНиП II-22-81 [1] модуль упругости (начальный модуль деформаций) кладки  $E_0$  при кратковременной нагрузке определяется по формуле (2) и численно равен тангенсу угла наклона касательной к кривой зависимости « $\sigma$ – $\varepsilon$ » в точке, соответствующей  $\sigma=0$ .

$$E_0 = \alpha R_u \quad (2)$$

В формуле (2)  $\alpha$  – упругая характеристика кладки, которая зависит от вида кладочных элементов, вида и прочностных показателей кладочного раствора,  $R_u$  – временный предел прочности каменной кладки при сжатии. Значения  $\alpha$ , приведенные в [1] определены только для случая сжатия кладки перпендикулярно горизонтальным растворным швам.

Согласно Еврокоду 6 [2] кратковременный модуль упругости  $E$  каменной кладки является секущим модулем и определяется в процессе испытаний в соответствии с EN 1052-1 [3]. Величина кратко-

временного модуля равна тангенсу угла наклона секущей, проходящей через точки кривой, соответствующие ординатам  $\sigma=0$  и  $\sigma=0,33f$ . При отсутствии результатов испытаний, полученных в соответствии с [3], значение кратковременного модуля упругости  $E$  допускается определять по зависимости (3).

$$E = K_E f_k. \quad (3)$$

Числовые значения для коэффициента  $K_E$  устанавливаются в национальном приложении к [2]. Рекомендуемое [2] значение  $K_E=1000$ . При этом в [2] коэффициент  $K_E$  принят одинаковым при действии сжимающего усилия вдоль и поперек горизонтальных растворных швов.

Значения коэффициентов поперечной деформации каменной кладки в нормах [1, 2] отсутствуют.

Каменная кладка, работающая в условиях плоского напряженного деформированного состояния, обычно рассчитывается как изотропный материал. Вследствие этого модуль сдвига ( $G$ ) для каменной кладки определяется из зависимости (4).

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}, \quad (4)$$

где  $E$  – модуль упругости каменной кладки;

$\nu = \frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_y}$  – коэффициент поперечной деформации (коэффициент Пуассона);

$\varepsilon_x$  – относительные поперечные деформации;

$\varepsilon_y$  – относительные продольные деформации

В нормах [1] и [2] модуль сдвига  $G$  каменной кладки устанавливается по зависимости (5):

$$G = 0,4E, \quad (5)$$

где  $E$  – модуль упругости каменной кладки при сжатии.

Принимая линейную зависимость между напряжениями и деформациями для каменной кладки, как изотропного материала, из выражения (4) получим величину коэффициента Пуассона  $\nu = 0,25$ .

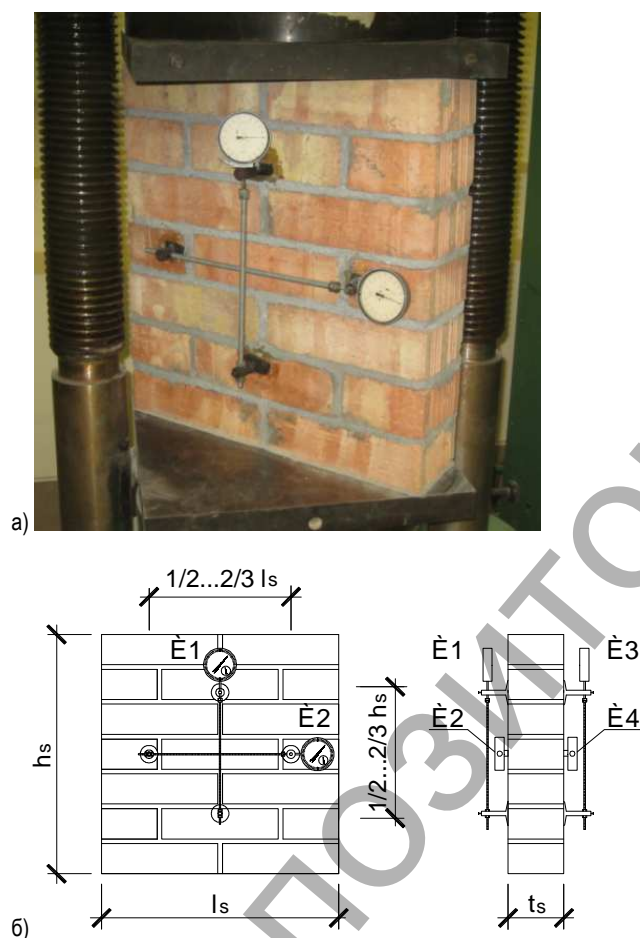
**Галалюк Антон Владимирович**, младший научный сотрудник филиала Республиканского унитарного предприятия «Институт БелНИИ-ИС» Научно-технического центра.

**Деркач Валерий Николаевич**, кандидат технических наук, заместитель директора филиала Республиканского унитарного предприятия «Институт БелНИИ-ИС» Научно-технического центра.

Беларусь, РУП «Институт БелНИИ-ИС», 224023, ул. Московская, 267/2.

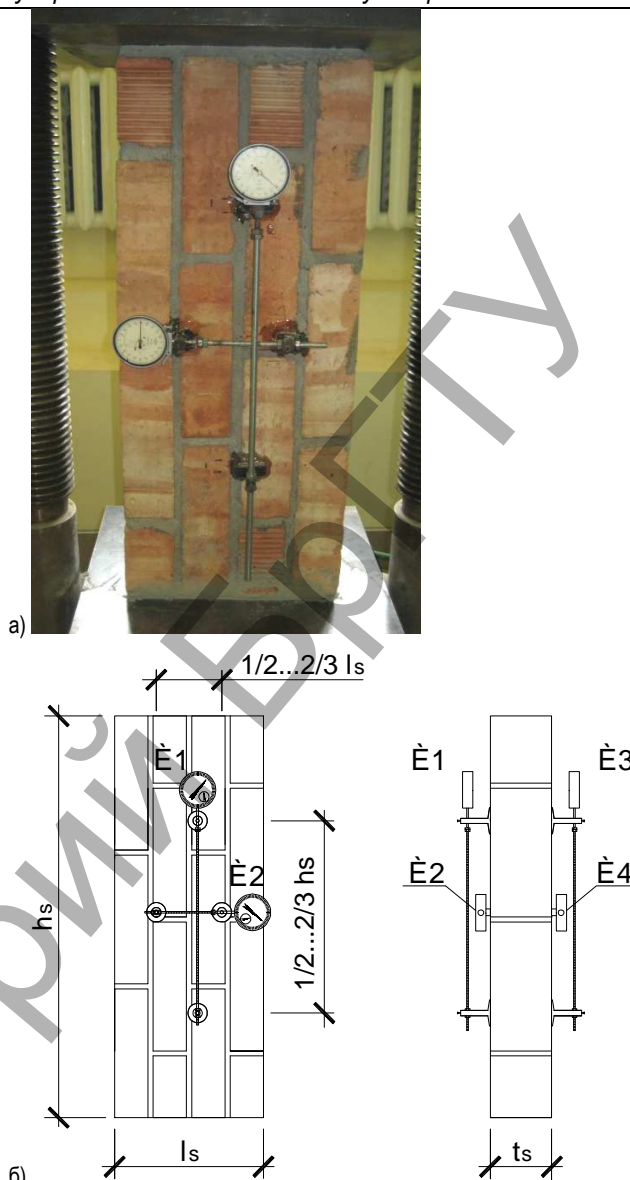
**Методика проведения испытаний.** Определение прочностных и деформационных характеристик каменной кладки производилось на образцах, изготовленных из керамических полнотелых кладочных элементов. Образцы были выполнены в соответствии с EN 1052-1 [3].

Были испытано три серии образцов с приложением нагрузки перпендикулярно к горизонтальным растворным швам. Каждая серия включала в себя от восьми до девяти испытываемых образцов и изготавливалась с применением кладочного раствора различной прочности при неизменной нормализованной прочности кладочных элементов, определенной в соответствии с [4] и равной  $f_b = 44,1$  МПа при сжатии перпендикулярно «постели» и  $f_b = 25,7$  МПа при сжатии перпендикулярно «тычку». Серия КРО-1 – изготавливалась на растворе прочностью  $f_m = 10,9$  МПа; КРО-2 –  $f_m = 7,9$  МПа; КРО-3 –  $f_m = 3,1$  МПа. Общий вид, геометрические характеристики и схема расстановки измерительных приборов представлена на рисунке 1.



**Рис. 1.** Схема испытаний опытных образцов: а) общий вид, б) схема расстановки приборов (И1-И4 – индикаторы перемещений часового типа ИГП-1 с ценой деления 0,001 мм;  $h_s = 515$  мм;  $l_s = 510$  мм;  $t_s = 120$  мм)

Также были испытаны три серии образцов с приложением нагрузки параллельно к горизонтальным растворным швам. Каждая серия включала в себя шесть испытываемых образцов и изготавливалась с применением кладочного раствора аналогичных пропорций и прочностей что и при изготовлении образцов при сжатии перпендикулярно горизонтальным швам. Общий вид, геометрические характеристики и схема расстановки измерительных приборов представлены на рисунке 2.



**Рис. 2.** Схема испытаний опытных образцов: а) общий вид, б) схема расстановки приборов (И1-И4 – индикаторы перемещений часового типа ИГП-1 с ценой деления 0,001 мм;  $h_s = 780$  мм;  $l_s = 305$  мм;  $t_s = 120$  мм)

Согласно требованиям [2], по своим геометрическим характеристикам кирпич, из которого готовились образцы каменной кладки, относился к I группе кладочных элементов. Для приготовления кладочных растворов использовалась сухая растворная смесь №111/11 М100 по СТБ1307-2002 производства ОАО «Красносельскстройматериалы». Из данной растворной смеси путем изменения пропорций составляющих готовилась растворная смесь других прочностных показателей. Прочность кладочного раствора при сжатии устанавливалась на основании [5].

Для определения деформационных характеристик измерялись продольные и поперечные относительные деформации кладки, с помощью индикаторов часового типа с ценой деления 0,001 мм, установленных с базой, равной от 1/2 до 2/3 длины (высоты) образцов.

Установка образцов в пресс производилась таким образом, чтобы вертикальная ось образца совпадала с осью приложения нагрузки. Производилось первоначальное нагружение с целью определения разницы показаний индикаторов, установленных на противоположных больших гранях образца. Разница показаний не должна превышать 20 %.

Таблица 1. Прочностные и деформационные характеристики каменной кладки при сжатии перпендикулярно к горизонтальным растворным швам

№ серии испытываемых образцов	Прочность каменной кладки при сжатии $f_{obs,i}$ (МПа)		Модуль упругости при сжатии $E$ (МПа)		Коэффициент поперечного расширения $\nu$	
	одного образца	среднее значение по серии	одного образца	среднее значение по серии	одного образца	среднее значение по серии
1	2	3	4	5	6	7
Образцы выполнены из кирпича КРО-150/25 $f_b = 44,1$ МПа на растворе $f_m = 10,9$ МПа						
КРО-1-1(r)	17,5	15,5 (12,92*)	9030	11146	0,16	0,165
КРО-1-2(r)	16,94		8750		0,17	
КРО-1-3(r)	12,16		8750		0,19	
КРО-1-4(r)	17,7		12240		0,14	
КРО-1-5(r)	14,0		13000		-	
КРО-1-6(r)	16,1		12700		-	
КРО-1-7(r)	13,1		12300		-	
КРО-1-8(r)	16,4		12400		-	
Образцы выполнены из кирпича КРО-150/25 $f_b = 44,1$ МПа на растворе $f_m = 7,9$ МПа						
КРО-2-1(r)	12,86	13,13 (10,94*)	13080	10677	0,24	0,228
КРО-2-2(r)	12,48		9070		0,21	
КРО-2-3(r)	12,39		10270		0,19	
КРО-2-4(r)	11,5		14730		0,25	
КРО-2-5(r)	12,83		9945		0,25	
КРО-2-6(r)	14,4		9650		-	
КРО-2-7(r)	14,1		8970		-	
КРО-2-8(r)	14,5		9700		-	
Образцы выполнены из кирпича КРО-150/25 $f_b = 44,1$ МПа на растворе $f_m = 3,1$ МПа						
КРО-3-1(r)	9,23	9,54 (7,95*)	9040	6454	0,38	0,32
КРО-3-2(r)	9,42		5400		0,4	
КРО-3-3(r)	8,74		7300		0,23	
КРО-3-4(r)	9,27		6800		0,24	
КРО-3-5(r)	10,96		5700		-	
КРО-3-6(r)	11,04		6600		0,35	
КРО-3-7(r)	9,4		6000		-	
КРО-3-8(r)	8,5		5600		-	
КРО-3-9(r)	9,3		5650		-	

Примечание: (\*) обозначена характеристическая прочность каменной кладки при сжатии

Нагружение опытных образцов производилось при помощи гидравлического пресса П-125. Усилие возрастало равномерно, при этом скорость нагружения выбиралась такой, чтобы достичь разрушения образца в пределах 15–30 минут от начала приложения нагрузки. Во время снятия отсчетов по приборам нагрузка поддерживалась на постоянном уровне.

Измерения производились до появления сквозных трещин в зоне установки индикаторов.

Прочность при сжатии отдельного испытываемого образца кладки рассчитывалась с точностью до 0,1 Н/мм<sup>2</sup> по формуле (6):

$$f_i = \frac{F_{i,max}}{A_i}, \quad (6)$$

где  $F_{i,max}$  – максимальная нагрузка, воспринимаемая образцом каменной кладки;

$A_i$  – площадь поперечного сечения образца.

Модуль упругости  $E_i$  определялся как секущий модуль при среднем значении относительной деформации, измеренной в двух точках  $\varepsilon_x$ , и нагрузке, равной одной трети разрушающей нагрузки  $F_{i,max}$  (7).

$$E_i = \frac{F_{i,max}}{3\varepsilon_x A_i}, \quad (7)$$

где  $F_{i,max}$  – максимальная нагрузка, воспринимаемая образцом каменной кладки;

$A_i$  – площадь поперечного сечения образца;

$\varepsilon$  – относительные продольные деформации.

Коэффициент поперечной деформации  $\nu$  (коэффициент Пуассона) определялся как отношение продольной деформации к поперечной (8).

$$\nu = \left| \frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_y} \right|, \quad (8)$$

где  $\varepsilon_x$  – относительные поперечные деформации;

$\varepsilon_y$  – относительные продольные деформации.

**Результаты испытаний.** В таблице 1 и таблице 2 приведены экспериментальные значения прочностей и деформационных характеристик каменной кладки, выполненной из керамических полнотелых кладочных элементов при сжатии перпендикулярно и параллельно горизонтальным растворным швам соответственно.

Таблица 2. Прочностные и деформационные характеристики каменной кладки при сжатии параллельно горизонтальным швам

№ серии Испытываемых образцов	Прочность каменной кладки при сжатии $f_{obs,i}$ (МПа)		Модуль упругости при сжатии $E$ (МПа)		Коэффициент поперечного расширения $\nu$	
	одного образца	среднее значение по серии	одного образца	среднее значение по серии	одного образца	среднее значение по серии
1	2	3	4	5	6	7
Образцы выполнены из кирпича КРО-150/25 $f_b = 25,7$ МПа на растворе $f_m = 10,9$ МПа						
КРО-1-1(в)	6,09	<b>8,58 (7,16*)</b>	12280	<b>9830</b>	0,23	<b>0,218</b>
КРО-1-2(в)	5,51		8383		0,194	
КРО-1-3(в)	5,75		8876		0,23	
КРО-1-4(в)	12,4		10260		-	
КРО-1-5(в)	10,3		10200		-	
КРО-1-6(в)	11,4		9600		-	
Образцы выполнены из кирпича КРО-150/25 $f_b = 25,7$ МПа на растворе $f_m = 7,9$ МПа						
КРО-2-1(в)	4,58	<b>7,16 (5,97*)</b>	8450	<b>8450</b>	0,3	<b>0,3</b>
КРО-2-2(в)	5,23		8650		0,33	
КРО-2-3(в)	4,85		8000		0,27	
КРО-2-4(в)	8,3		8500		-	
КРО-2-5(в)	10,9		9500		-	
КРО-2-6(в)	9,1		7600		-	
Образцы выполнены из кирпича КРО-150/25 $f_b = 25,7$ МПа на растворе $f_m = 3,1$ МПа						
КРО-3-1(в)	4,18	<b>5,09 (4,24*)</b>	4800	<b>5150</b>	0,3	<b>0,35</b>
КРО-3-2(в)	2,66		4500		0,4	
КРО-3-3(в)	3		4600		0,36	
КРО-3-4(в)	7,9		7600			
КРО-3-5(в)	6,1		4200			
КРО-3-6(в)	4,6		5200			

Примечание: (\*) обозначена характеристическая прочность каменной кладки при сжатии

По данным, представленным в таблицах 1, 2, в соответствии с зависимостью (3) были определены коэффициенты (упругие характеристики) ( $K_E$ ) для дальнейшего сравнения с рекомендуемыми значениями [2].

При сжатии образцов каменной кладки перпендикулярно горизонтальным швам получены следующие значения коэффициента  $K_E$ :

- КРО 1 (г) –  $K_E = 863$  (разница с рекомендуемым значением [2] – 13,7%);
- КРО 2 (г) –  $K_E = 976$  (разница с рекомендуемым значением [2] – 2,4%);
- КРО 3 (г) –  $K_E = 818$  (разница с рекомендуемым значением [2] – 18,2%).

При сжатии образцов каменной кладки параллельно горизонтальным швам значения коэффициента  $K_E$  составили:

- КРО 1 (в) –  $K_E = 1367$  (разница с рекомендуемым значением [2] +36,7%);
- КРО 2 (в) –  $K_E = 1415$  (разница с рекомендуемым значением [2] +41,5%);
- КРО 3 (в) –  $K_E = 1267$  (разница с рекомендуемым значением [2] +26,7%).

Значение коэффициента  $K_E$  при сжатии параллельно к горизонтальным швам оказалось выше, чем при сжатии перпендикулярно к горизонтальным швам, и выше рекомендуемого [2] значения  $K_E = 1000$ .

По результатам испытаний были построены графические зависимости коэффициента поперечного расширения от прочности раствора (рисунок 3а) и уровня сжимающих напряжений (рисунок 3б).

Из графиков, приведенных на рисунке 3, следует, что величина коэффициента поперечного расширения (коэффициента Пуассона) возрастает с ростом сжимающих напряжений в каменной кладке. Граничные значения  $\nu$  при напряжениях  $\sigma = 0,1 \dots 0,4 f_{obs,mv}$  составили для кладки на растворах прочностью при сжатии:  $f_m = 3,1$  МПа –

$\nu = 0,23-0,44$ ;  $f_m = 7,9$  МПа –  $\nu = 0,091-0,25$ ;  $f_m = 10,9$  МПа –  $\nu = 0,075-0,19$ .

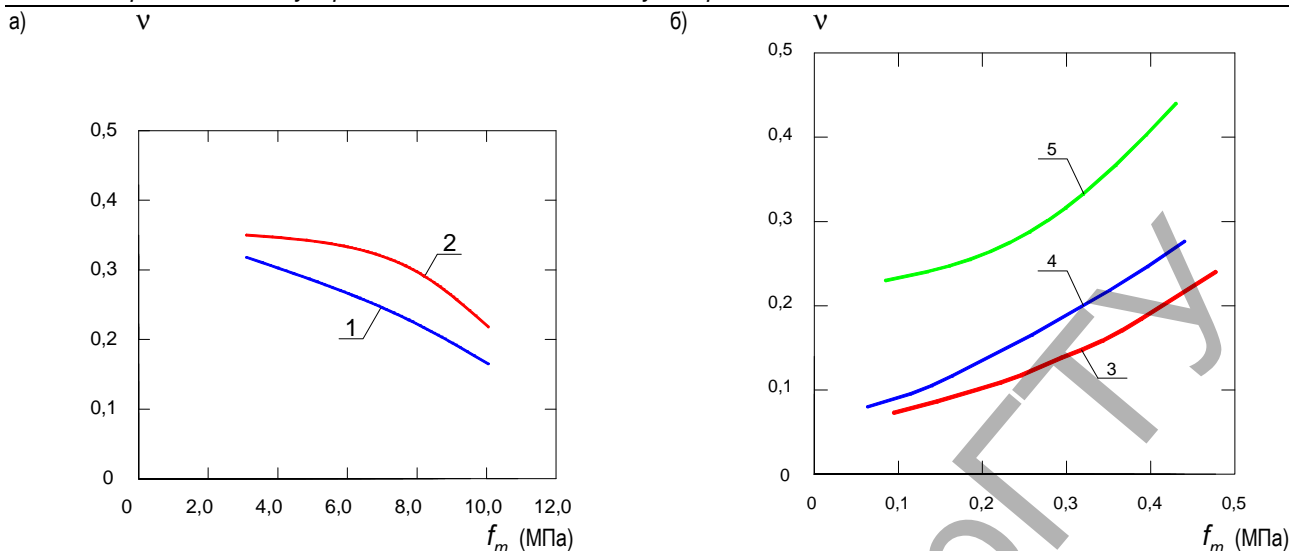
Величина коэффициента поперечного расширения  $\nu$  зависит от прочности кладочного раствора  $f_m$ . С ростом прочности  $f_m$  величина  $\nu$  снижается.

В таблице 3 приведено сравнение значений прочности кладки при сжатии и модулей упругости, полученных при испытаниях опытных образцов сжимающей нагрузкой, действующей перпендикулярно и параллельно плоскости горизонтальных растворных швов.

Как следует из таблицы 3, прочность каменной кладки, выполненной из полнотелых кладочных элементов, заметно меняется с изменением направления приложения нагрузки, разница составляет до 87%. Менее существенная разница (13–26%) была получена для модулей упругости.

**Заключение.** На основании проведенных исследований можно сделать следующее заключение:

1. Каменная кладка из полнотелого керамического кирпича имеет слабо выраженную анизотропию деформационных свойств, которой при оценке напряженно деформированного состояния каменных конструкций можно пренебречь.
2. При расчетах каменных конструкций следует учитывать анизотропию прочности кладки при сжатии. Для кладки из керамического полнотелого кирпича разница в прочности при сжатии параллельно и перпендикулярно горизонтальным швам составила (81–87%).
3. Коэффициент поперечной деформации каменной кладки зависит от прочности кладочных растворов и уровня сжимающих напряжений. С ростом сжимающих напряжений в каменной кладке величина коэффициента Пуассона возрастает. Граничные значения коэффициента поперечной деформации при напряжениях в каменной кладке  $\sigma = 0,1 \dots 0,4 f_{obs,mv}$  составили для образцов на растворах прочностью при сжатии:  $f_m = 3,1$  МПа  $\nu = 0,23-0,44$ ;  $f_m = 7,9$  МПа  $\nu = 0,091-0,25$ ;  $f_m = 10,9$  МПа  $\nu = 0,075-0,19$ .



1 – с приложением нагрузки перпендикулярно горизонтальным швам; 2 – с приложением нагрузки параллельно горизонтальным швам; 3 – КРО – 1(r); 4 – КРО – 2(r); 5 – КРО – 3(r)

Рис. 3. Графики зависимости «  $\nu - f_m$  » и «  $\nu - \sigma/f_{obs,mv}$  » опытных образцов

Таблица 3. Отношение прочностей и модулей упругости каменной кладки при сжатии вдоль и поперек горизонтальных растворяющих швов

Обозначение серии	Прочность кладки при сжатии		$f_{\perp}/f_{\parallel}$	Модуль упругости кладки при сжатии		$E_{\perp}/E_{\parallel}$
	поперек растворяющих швов $f_{\perp}$ (МПа)	вдоль растворяющих швов $f_{\parallel}$ (МПа)		поперек растворяющих швов $E_{\perp}$ (МПа)	вдоль растворяющих швов $E_{\parallel}$ (МПа)	
1	2	3	4	5	6	7
КРО-1	15,5	8,58	1,81	11146	9830	1,13
КРО-2	13,13	7,16	1,83	10677	8450	1,26
КРО-3	9,54	5,09	1,87	6454	5150	1,25

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Каменные и армокаменные конструкции: СНиП II-22-81\*. Госстрой СССР – М: Стройиздат, 1983. – 40 с.
2. Проектирование каменных конструкций. Часть 1-1. Общие правила для армированных и неармированных каменных конструкций: СТБ EN/1996-1-1-2008. – Введ. 31.10.08. – Минск: Госстандарт. – 127 с.
3. Методы испытаний каменной кладки. Часть 1. Определение прочности при сжатии: EN 1052-1.-Введ.07.10.1998. – CEN/TC 125. – 10 с.
4. Методы испытаний строительных блоков. Часть 1. Определение прочности при сжатии: СТБ EN 772-1-2008.- Введ. 01.01.09. – Минск: Госстандарт. – 9 с.
5. Методы испытаний строительных растворов для каменной кладки – Часть 11. Определение прочности затвердевшего строительного раствора при изгибе и при сжатии: EN 1015-11.- Введ.07.08.1999. – CEN/TC 125. – 18 с.

Материал поступил в редакцию 02.02.12

#### HALALIUK A.V., DERKACH V.N. Deformation characteristics of masonry in compression

This article contains results of experimental researches to determine the strength and deformation characteristics of masonry, executed from ceramic masonry elements with general purpose mortar, in compression in orthogonal directions.

УДК 69.022

Демчук И.Е., Деркач В.Н.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ СЦЕПЛЕНИЯ РАСТВОРОВ В КАМЕННОЙ КЛАДКЕ

**Введение.** Прочность сцепления раствора с кладочными элементами является важнейшей характеристикой, влияющей на трещиностойкость, прочность и долговечность каменной кладки. Данная характеристика играет важную роль в каменной кладке, работающей на осевое растяжение, срез и изгиб, а также при действии главных растягивающих напряжений, которые являются результатом работы каменных конструкций в условиях плоского напряженного состояния. В таких условиях, например, работает стеновое заполнение каркасов при перекосе в плоскости стен, перегородки, опирающиеся на

гибкие диски перекрытий, каменные конструкции, воспринимающие сейсмические воздействия, и т.д.

В СНиП II-22-81 [1] прочность нормального и касательного сцепления зависит от прочности кладочного раствора, вида кладочного элемента (полнотелый или пустотелый) и его материала (керамический или силикатный). При этом принимается, что прочность сцепления при повышении марки раствора выше 50 не изменяется. В ГОСТ 24992-81 [2] содержится методика оценки прочности сцепления в каменной кладке, основанная на испытании на осевое растяжение кладочных элемен-

Демчук Игорь Евгеньевич, аспирант Республиканского унитарного предприятия «Институт БелНИИС» Научно-технического центра. Беларусь, РУП «Институт БелНИИС», 224023, ул. Московская, 267/2.